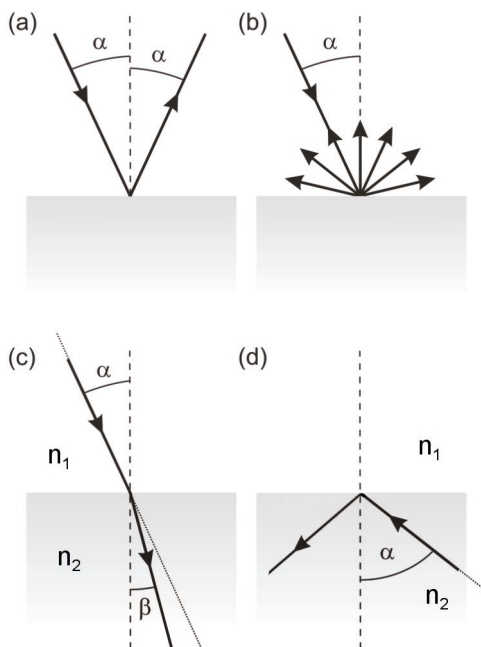


Zabawy z odbiciami

Duża część informacji, którą czerpiemy o świecie, dociera do nas za pomocą zmysłu wzroku. To, co rejestruje ludzkie oko, to zakres fal elektromagnetycznych, które nazywamy promieniowaniem widzialnym. Niektóre przedmioty w naszym otoczeniu, takie jak żarówka, płomień świecy, czy Słońce są źródłami światła. Widzimy je dzięki temu, że emitowane przez nie światło dociera do naszych oczu. Przedmioty, które nie wysyłają promieniowania widzialnego są widoczne dzięki temu, że odbijają część padającego na nie światła.

Każdy obiekt częściowo pochłania, przepuszcza i odbija światło. Ilość i kierunek odbitego od przedmiotu światła różnią się w zależności od rodzaju materiału. Światło padające na powierzchnię lustra albo innego wypolerowanego przedmiotu zostaje przede wszystkim odbite, przy czym kierunek odbitego światła można wyznaczyć z prawa odbicia: „kąt padania równy jest kątowi odbicia” (rys. 1a).

Jeśli światło pada na chropowatą powierzchnię, to ulega odbiciu od mikroskopijnych dołków i górek pod różnymi kątami, co w rezultacie powoduje, że widzimy światło odbite równomiernie w każdym kierunku. Taki przypadek nazywamy odbiciem rozproszonym (rys. 1b). Część padającego na powierzchnię światła przedostaje się do wnętrza obiektu. Jeśli substancja, z której zbudowany jest przedmiot, jest nieprzezroczysta (np. drewnia-



Rys. 1. Odbicie lustrzane (a), odbicie rozproszone (b), załamanie światła (c) i całkowite wewnętrzne odbicie (d)

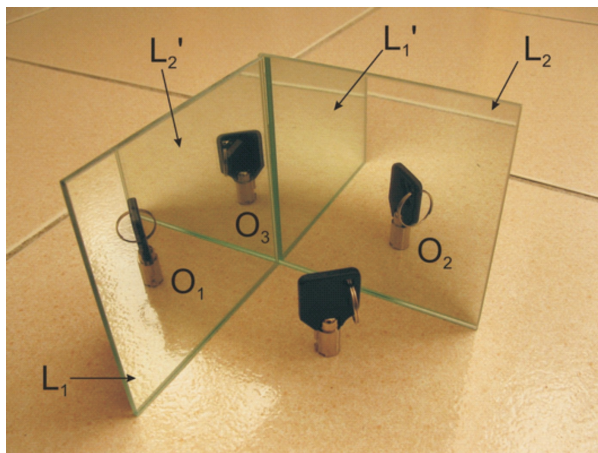
ny klocek) oznacza to, że światło ulega pochłonięciu wewnątrz tego obiektu. Patrząc na taki przedmiot „pod światło” nie zdołamy zobaczyć przechodzących przez niego promieni światła. Jeśli natomiast przedmiot jest przezroczysty (np. szklana kulka) to znaczy, że światło jest w nim słabo pochłaniane i możemy je obserwować po drugiej stronie obiektu. Kierunek rozchodzenia się światła wewnątrz przedmiotu określa prawo załamania: „iloczyn sinusa kąta padania i współczynnika załamania światła w ośrodku pierwszym jest równy iloczynowi sinusa kąta załamania i współczynnika załamania światła w ośrodku drugim” $\sin \alpha \cdot n_1 = \sin \beta \cdot n_2$ (rys. 1c). Współczynnik załamania światła jest wielkością charakteryzującą dany materiał i jest związany z prędkością rozchodzenia się w nim światła. Im większa wartość współczynnika załamania danej substancji, tym wolniej rozchodzi się w niej światło – współczynnik ten jest na przykład większy w szkłe niż w powietrzu. Jeśli światło pada na granice ośrodków od strony ośrodka o większym współczynniku załamania do ośrodka o mniejszym współczynniku załamania (np. ze szkła do powietrza), to powyżej pewnej wartości kąta padania światło nie przedostaje się do drugiego ośrodka (rys. 1d). To zjawisko nosi nazwę całkowitego wewnętrznego odbicia, a kąt padania, powyżej którego zjawisko to zachodzi, nazywa się kątem granicznym. Na przykład dla granicy woda–powietrze kąt ten wynosi około 49° , a dla granicy pomiędzy powietrzem i szkłem – około 42° .

Przyjrzyjmy się teraz kilku przykładom ciekawych efektów będących konsekwencją praw odbicia i załamania światła.



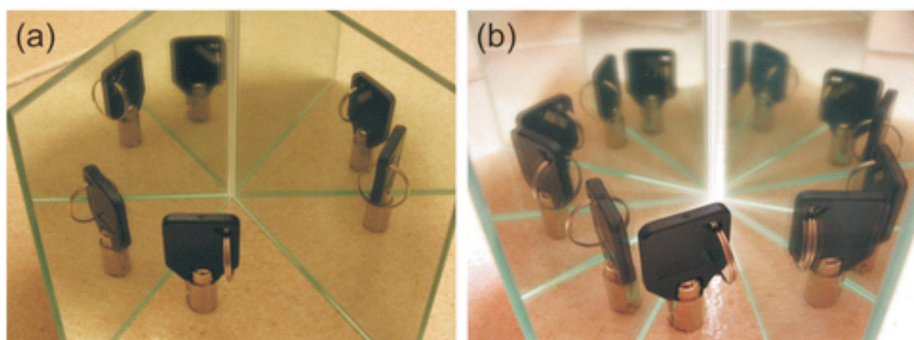
Kalejdoskop

Zacznijmy od prostej, ale bardzo pouczającej zabawki – kalejdoskopu. Przepiękne obrazy, które można w nim obserwować powstają na skutek wielokrotnych odbić pomiędzy dwoma odpowiednio ustawionymi lustrami. Żeby zrozumieć jak dochodzi do powstania tych obrazów zastanówmy się najpierw, co się dzieje, jeśli umieścimy jakiś przedmiot pomiędzy dwoma lustrami ustawionymi prostopadle (fot. 1).



Fot. 1. Obrazy powstające w układzie dwóch prostopadle ustawionych luster L_1 i L_2 . L_1' jest obrazem lustra L_1 w lustrze L_2 , a L_2' – obrazem lustra L_2 w lustrze L_1

Powstają wówczas trzy obrazy: O_1 – czyli obraz przedmiotu w lustrze L_1 , O_2 – czyli obraz przedmiotu w lustrze L_2 , oraz O_3 – czyli obraz, który możemy uzyskać przez odbicie obrazu O_1 w lustrze L_2' lub przez odbicie obrazu O_2 w lustrze L_1' . Jeśli zmniejszymy kąt pomiędzy lustrami, to doprowadzimy do powstania jeszcze większej liczby obrazów. I tak, dla kąta 60° otrzymamy 5 obrazów (fot. 2a), a dla kąta 30° – 11 obrazów (fot. 2b).



Fot. 2. Obrazy powstające w układzie dwóch luster ustawionych pod kątem 60° (a) i 30° (b)

W przypadku kalejdoskopów najczęściej lustra ustawione są pod kątem 60° i obserwowany w nim obraz ma wówczas symetrię sześciokrotną (oprócz obrazów widzimy również sam przedmiot, więc dla kąta 60° widzimy w sumie 6 przedmiotów). Aby uatrakcyjnić powstający obraz, zamiast pojedynczego przedmiotu w prawdziwych kalejdoskopach stosuje się kolorowe kamyczki i szkiełka. Umieszcza się je pomiędzy dwoma przezroczystymi płytkami na jednym końcu obudowy otaczającej lustro, a po przeciwnej stronie zostawia się otwór, przez który można obserwować powstające obrazy. Obracając kalejdoskop, możemy zmieniać położenie kamyczków i szkiełek, pełniących funkcję przedmiotu umieszczonego pomiędzy lustrami, a tym samym zmieniać uzyskiwany obraz. O tym, jak samemu w prosty sposób zbudować kalejdoskop, można przeczytać w dalszej części tego zeszytu.

Największy, bo 40-metrowy kalejdoskop zbudowano z okazji wystawy EXPO 2005 w Japonii. Zwiedzający mogli w nim podziwiać obrazy o średnicy 36 metrów!



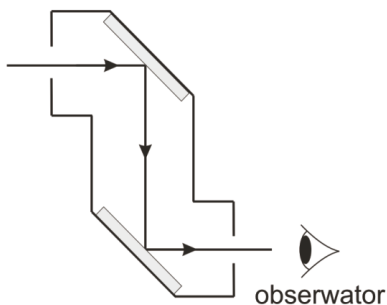
Fot. 3. Wieża Earth Tower, w której znajdował się największy kalejdoskop świata podczas wystawy EXPO 2005 w Japonii (a) i obraz uzyskany w tym kalejdoskopie (b)

Peryskop

Innym ciekawym przyrządem, w którym wykorzystuje się prawo odbicia światła, jest peryskop. Urządzenie to pozwala na obserwowanie otoczenia z ukrycia, np. spod wody. Peryskop składa się z dwóch równoległych lusterek umieszczonych pod kątem 45° do pionu na przeciwnych końcach rury zaopatrzonej w dwa otwory (rys. 2).

Światło padające przez górny otwór zostaje odbite od lustra L_1 , po czym zostaje skierowane w stronę lustra L_2 , skąd trafia do oka obserwatora.

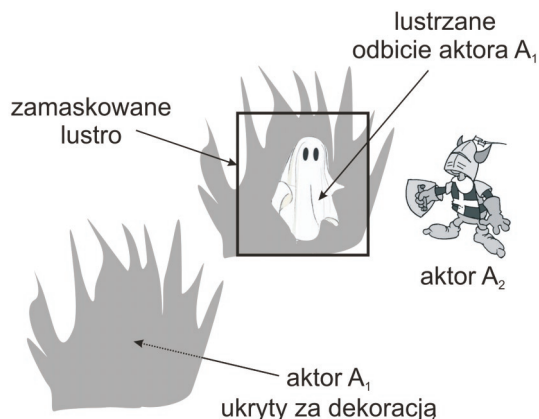
Peryskopy wykorzystywane są m.in. w czołgach, wozach bojowych oraz na pokładach okrętów podwodnych do obserwacji otoczenia.



Rys. 2. Schemat budowy peryskopu

Duchy i mówiące głowy

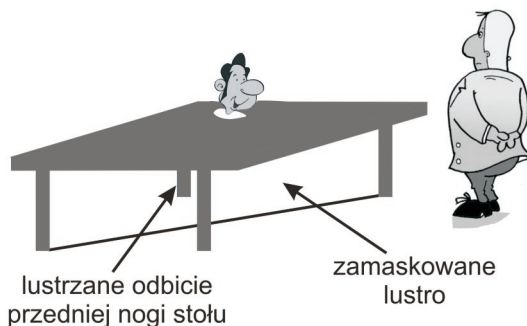
Zjawisko odbicia światła jest często wykorzystywane w różnego rodzaju sztuczkach w celu wywołania u widza złudzeń optycznych. Na przykład w teatrze zjawisko odbicia wykorzystywane jest po to, by umożliwić pojawianie się na scenie duchów. Odpowiednia aranżacja sceny (rys. 3) pozwala aktorowi A_1 pojawić się „znikąd” tuż obok aktora A_2 .



Rys. 3. Aranżacja sceny teatralnej umożliwiająca pojawienie się „ducha”

Podczas gdy aktor A_2 zajmuje uwagę widzów, aktor A_1 może ukryć się za dekoracją na pierwszym planie tak, żeby jego obraz widoczny był w lustrze. Oczywiście, aby uzyskać spodziewany efekt należy dobrze zakamuflować lustro, a najlepiej, jeśli scena rozgrywa się w półmroku. Inna tego typu sztuczka może posłużyć do... bezbolesnego obcinania głowy w cyrku. Magik dysponuje kwadratowym stołem z wyciętym w rogu otworem (rys. 4).

Stół przykryty jest długą zasłoną. Sztukmistrz skłania jednego z odważnych widzów do wejścia na scenę, a następnie prosi go o wejście pod stół i wystawienie głowy przez otwór. Następnie magik udaje, że odcina resztę ciała od głowy, po czym efektownym ruchem usuwa ze stołu zasłonę. Widzowie z przerażeniem spostrzegają, że ciało ochotnika zniknęło. W rzeczywistości ochotnik znajduje się za dobrze zamaskowanym lustrem,

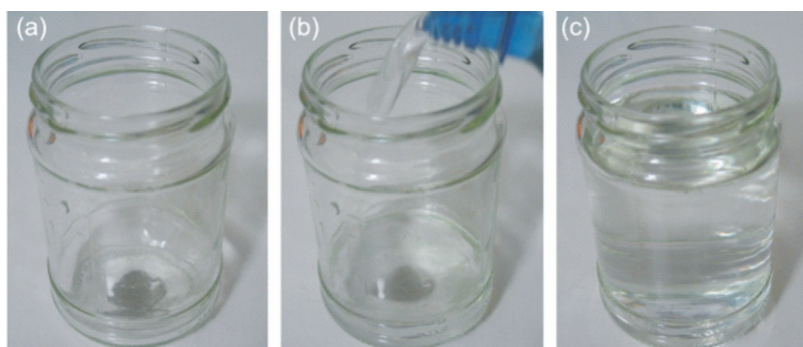


Rys. 4. Schemat układu do sztuczki z „mówiącą głową”

ustawionym po przekątnej pomiędzy nogami stołu. We wszystkich tego typu sztuczkach kluczowe jest odpowiednie ustawienie lustra względem widzów. Przygotowując przedstawienie należy wziąć pod uwagę, że osoby siedzące w różnych miejscach widowni patrzą na scenę pod różnymi kątami. Zmiana kierunku obserwacji może bowiem prowadzić do odkrycia „oszustwa”.

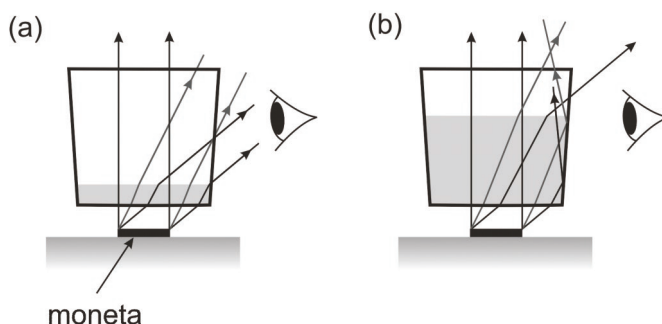
Rozpuszczanie monety w wodzie

Magiczne triki można też wykonywać wykorzystując zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia światła. Jako przykład rozważmy eksperyment polegający na... rozpuszczeniu monety w szklance wody. Osoba wykonująca pokaz powinna dyskretnie ukryć monetę pod dnem szklanki albo przezroczystego plastikowego kubka, a następnie poprosić widzów o obserwację szklanki podczas nalewania do niej wody. Przy pewnej wysokości słupa wody w szklance moneta znika (fot. 4).



Fot. 4. Ilustracja doświadczenia z rozpuszczaniem monety w wodzie

Dzieje się tak dlatego, że dla ustalonego położenia oka, powyżej pewnej wysokości słupa wody wszystkie promienie światła odbijane przez powierzchnię monety, i uprzednio docierające do oka obserwatora, ulegają całkowitemu wewnętrznemu odbiciu (rys. 5).



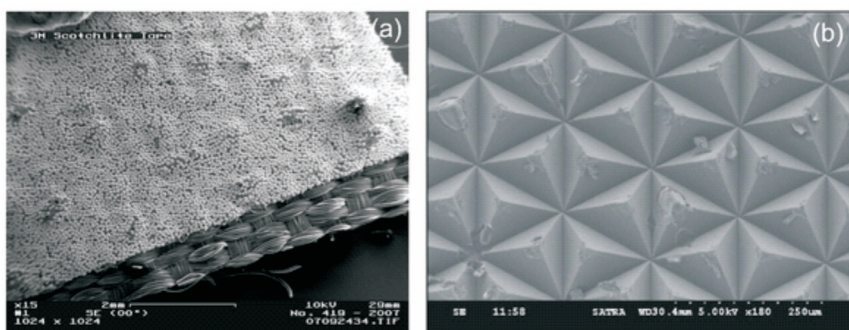
Rys. 5. Rozpuszczanie monety w szklance wody. Dla przejrzystości rysunku, szklanka uniesiona jest nieco ponad powierzchnię stołu. Gdy wody jest niewiele, obserwator widzi monetę tak, jakby znajdowała się ona na dnie szklanki (a). Powyżej pewnej wysokości słupa wody w szklance, moneta „znika” z pola widzenia obserwatora (b)

Pokaz należy wykonywać tak, żeby szklanka znajdowała się mniej więcej na wysokości oczu widzów i by nie mieli oni możliwości spoglądania do wnętrza szklanki od góry (można w tym celu przykryć szklankę spodem).

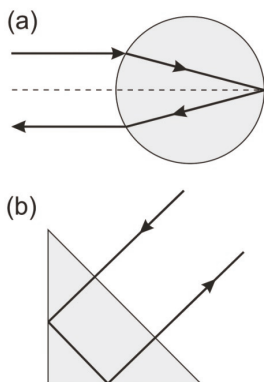
Folie odbłaskowe

Zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia ma też szereg bardzo praktycznych zastosowań. Jednym z nich jest produkcja materiałów odbłaskowych. Powierzchnie odbłaskowe charakteryzują się tym, że odbijają padające na nie promieniowanie z powrotem w tym samym kierunku. Jak wiemy, z sytuacją odbicia w tym samym kierunku mamy do czynienia w przypadku, gdy światło pada prostopadłe na powierzchnię lustra. W przypadku materiałów odbłaskowych, światło ulega jednak odbiciu w tym samym kierunku, bez względu na kąt padania. Jak to możliwe? Otóż powierzchnia odbłaskowa pokryta jest mikroskopijnymi reflektorami odbłaskowymi w postaci szklanych kuleczek lub pryzmatów (fot. 5).

W obydwu przypadkach światło ulega całkowitemu wewnętrznemu odbiciu wewnątrz tych mikroskopijnych elementów i wraca z powrotem w tym samym kierunku (rys. 6).



Fot. 5. Powierzchnia odbłaskowa pokryta mikroskopijnymi kuleczkami (a) i mikropryzmatami (b) – obrazy wykonane za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego



Rys. 6. Całkowite wewnętrzne odbicie w szklanej kulce (a) i w równoramiennym, prostokątnym pryzmacie (b)

Materiały odbłaskowe wykorzystuje się m.in. do pokrywania powierzchni znaków drogowych oraz ubrań ochronnych. Ta sama zasada działania stosowana jest w precyzyjnym miernictwie: wiązka laserowa wysyłana jest w kierunku pryzmatu umieszczonego w nieznannej odległości, który odbija światło z powrotem do detektora. Znając szybkość rozchodzenia się światła i mierząc czas, po jakim światło dociera do miernika, można dokładnie określić odległość od pryzmatu. Właśnie w ten sposób dokładnie zmierzono orbitę Księżyca wokół Ziemi. W tym celu wykorzystano zestawy pryzmatów pozostawione na Księżycu przez amerykańskie i radzieckie misje kosmiczne. O tym i o innych zastosowaniach reflektorów odbłaskowych można przeczytać w najnowszym numerze *Fotonu* nr 107, Zima 2009.

